

Calibrating a sensor system involves detecting sensor data as static or quasi-static objects taking into account object movement, feeding data to calibration unit for correction

Publication number: DE19962997

Publication date: 2001-06-28

Inventor: STILLER CHRISTOPH (DE)

Applicant: BOSCH GMBH ROBERT (DE)

Classification:





- international: *B60R21/00; B60W30/00; G01C21/26; G01C25/00; G01D18/00; G01S7/40; G01S7/497; G01S13/93; G01S17/89; G01S17/93; B60R21/00; B60W30/00; G01C21/26; G01C25/00; G01D18/00; G01S7/40; G01S7/48; G01S13/00; G01S17/00; (IPC1-7): G01D21/00; B60K28/10; B60Q9/00; G01C25/00; G08G1/16*

- european: G01C21/26; G01C25/00; G01S7/40A; G01S7/497; G01S13/93C; G01S17/93

Application number: DE19991062997 19991224

Priority number(s): DE19991062997 19991224

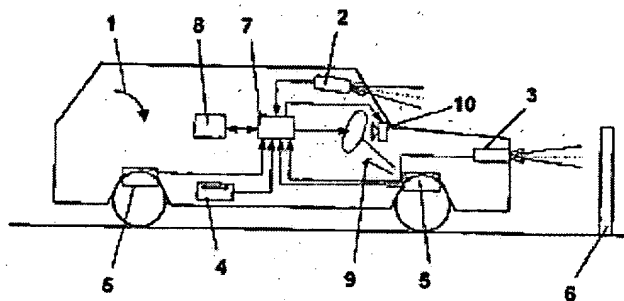
Also published as:

 US6778928 (B2)
 US2002072869 (A1)
 JP2001227982 (A)
 FR2803031 (A1)

Report a data error here

Abstract of DE19962997

The method involves detecting the data from the sensor as static or quasi-static objects taking into account the movement of the vehicle (1) itself and feeding the data to a calibration unit. The deviation between the current measured data from the data of a model of the object (6) is determined as an error vector and is evaluated to correct the data towards a deviation minimum.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 199 62 997 A 1**

⑤1 Int. Cl. 7:
G 01 D 21/00
G 01 C 25/00
B 60 K 28/10
G 08 G 1/16
B 60 Q 9/00

⑦1 Aktenzeichen: 199 62 997.8
⑦2 Anmeldetag: 24. 12. 1999
④3 Offenlegungstag: 28. 6. 2001

DE 199 62 997 A 1

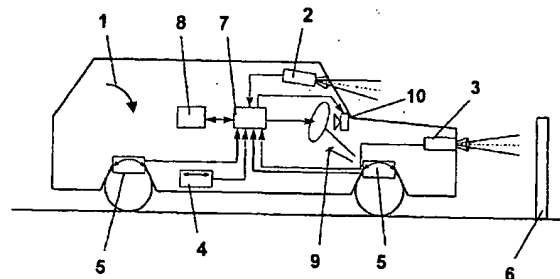
⑦1 Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦2 Erfinder:
Stiller, Christoph, Dr., 31199 Diekholzen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Verfahren zur Kalibrierung eines Sensorsystems

⑤7 Es wird ein Verfahren zur Kalibrierung eines Sensorsystems vorgeschlagen, mit dem eine Erfassung und Auswertung von Objekten im Kursverlauf eines Fahrzeuges (1) durchgeführt wird. Bei dem Verfahren werden mit dem Sensorsystem (2, 3, 4, 5) charakteristische Daten der Objekte (6) erfasst und die Daten, die unter Berücksichtigung der Eigenbewegung des Fahrzeuges (1) als ruhende oder quasi ruhende Objekte (6) erkannt werden, einer Kalibrierungseinheit (7) zugeführt. In der Kalibrierungseinheit (7) werden die Abweichung der aktuell gemessenen Daten von Daten eines Modells der Objekte (6) als Fehlervektor ermittelt (25; 35) und zur Korrektur der Daten des Modells in Richtung auf eine Minimierung der Abweichung herangezogen (27, 26; 36, 37).



DE 199 62 997 A 1

Beschreibung

Stand der Technik

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kalibrierung eines Sensorsystems, insbesondere eines Bildverarbeitungssystems, nach der Gattung des Hauptanspruchs.

Es ist an sich bekannt, dass Bildaufnahme- und andere Sensorsysteme als ein Baustein eines Fahrzeugsicherheitssystems im Straßenverkehr angewendet werden. Hierbei werden ständig Informationen über den Abstand und die Relativgeschwindigkeit des Fahrzeuges im Verhältnis zu anderen Objekten, d. h. anderen Fahrzeugen und zu den Straßengegebenheiten, verarbeitet. Die Bildaufnahmesysteme und ggf. auch Radarsensoren werden zur Messung geometrischer Größen im Fahrzeugumfeld verwendet, wobei die Radarsensoren für sich gesehen beispielsweise aus der DE 42 42 700 A1 bekannt sind. Mit dieser bekannten Anordnung kann beispielsweise eine Geschwindigkeitsregelung im Fahrzeug derart erweitert werden, dass die Fahrgeschwindigkeit an langsamere vorausfahrende Fahrzeuge angepasst wird, wenn diese von den Sensorsystemen im voraussichtlichen Kursbereich des Fahrzeugs erfasst werden. Der Kursbereich kann dabei beispielsweise mit Hilfe von Gierraten-, Lenkwinkel-, Querbeschleunigungssensoren, über die Radgeschwindigkeiten, oder auch mit den erwähnten Bildverarbeitungs- oder mit Navigationssystemen bestimmt werden.

Für eine einwandfreie Funktion des Systems ist im Prinzip eine vorherige Kalibrierung des Sensorsystems oder der Einzelsensoren im Fahrzeugumfeld zur anschließenden genauen Messung geometrischer Größen wie Längen, Geschwindigkeiten erforderlich, die vor oder nach Einbau der Sensoren ins Fahrzeug in laborähnlicher Umgebung erfolgt. Die verschiedenen Kalibrierungsverfahren erfordern in der Regel eine gezielte Bewegung der Sensoren bzw. der von der Sensorik erfaßten Objekte. Häufig ist sogar die Betrachtung eines speziellen Kunstobjektes erforderlich, das entsprechend als Kalibrierfeld bezeichnet wird. Um eine dauerhafte Funktionssicherheit zu gewährleisten ist auch eine spätere wiederholte Kontrolle der Kalibrierung auf mögliche Veränderungen notwendig, die sehr aufwendig sein kann.

Für sich gesehen ist aus der EP 0 602 013 B1 bekannt, dass zur Kalibrierung eines Koppelnavigationssystems Umgebungsinformationen, die beispielsweise aus einer Straßenkarte bekannt sind, herangezogen werden. Hierbei werden Informationen über den eigenen Fahrzeugzustand in Verbindung mit den aus der Karte bekannten Umgebungsinformationen verarbeitet.

Vorteile der Erfindung

Ein Verfahren zur Kalibrierung eines Sensorsystems, mit dem eine Erfassung und Auswertung von Objekten im Kursverlauf eines Fahrzeuges durchgeführt wird, ist erfindungsgemäß so aufgebaut, dass mit dem Sensorsystem in vorteilhafter Weise charakteristische Daten der Objekte, einschließlich der Fahrbahn, erfasst werden und die Daten, die unter Berücksichtigung der Eigenbewegung des Fahrzeugs als ruhende oder quasi ruhende Objekte erkannt werden, einer Kalibrierungseinheit zugeführt werden. In dieser Kalibrierungseinheit werden die Abweichung der aktuell gemessenen Daten von Daten eines Modells der Objekte als Fehlervektor ermittelt und zur Korrektur der Daten des Modells in Richtung auf eine Minimierung der Abweichung, z. B. mit einem iterativen Verfahren, herangezogen.

Mit der Erfindung kann in besonders vorteilhafter Weise

eine automatische Kalibrierung eines eingangs beschriebenen Sensorsystems und darüber hinaus eine spätere automatische Überprüfung einer einmal gewonnenen Kalibrierung durchgeführt werden. Hierzu sind außer der an sich bekannten Sensorelemente in der Fahrzeugumgebung und einer Auswerte- bzw. Kalibrierungseinheit keine weiteren Hilfsmittel erforderlich.

Auch speziell durchgeführte Bewegungen des Fahrzeugs, die bislang eigens zum Zweck der Kalibrierung durchzuführen waren, sind verzichtbar, da die erfindungsgemäße Kalibrierung vielmehr die Eigenbewegung der Fahrzeuge im Betrieb sowie das Wissen nutzt, daß Objekte der dreidimensionalen Welt häufig starr sind, bzw. sich ganzheitlich bewegen und die Kalibrierung der Sensoren über einen längeren Zeitraum stabil ist. Hierbei ist die Kalibrierung der Sensorik quasistationär, d. h. allenfalls langsam veränderlich. Auch heuristische Annahmen über typisches Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer (z. B. Spurhalten), die in praktischen Anwendungen zu Fehlfunktionen führen können, sind für dieses Verfahren nicht erforderlich. Eine wesentliche Eigenschaft der Erfindung ist somit, dass eine Kalibrierung möglich wird, welche die messbaren Größen möglichst gut erfasst. Die Forderung nach einer sog. wahren Kalibrierung, wie sie bei Laborkalibrierungen gestellt wird, ist hier nur zweitrangig.

Fertigungstechnisch ist darüber hinaus der Einbau unkali-
brierter Sensoren besonders vorteilhaft, da die Kalibrierung eines Sensors oftmals empfindlich gegen mechanische oder thermische Beanspruchung ist. Somit ist nicht nur die Fertigung vereinfacht, sondern es ist auch eine spätere Berücksichtigung von Einflüssen des Einbaus oder von anderen Veränderungen der Sensorik, bzw. des Fahrzeugs, auf die Kalibrierung auf einfache Weise durchführbar. Darüber hinaus kann die Kalibrierung auch jederzeit überprüft werden.

Nach einer besonders vorteilhaften Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird in einer Initialisierungsphase mit vorgebbaren Parametern eine erste Erfassung der Objektdaten vorgenommen, die als Modelldaten gespeichert werden. In allen zyklisch darauf folgenden Messungen werden die jeweils aktuellen Objektdaten mit den zuvor erfassten gespeicherten Modelldaten zur Gewinnung des jeweiligen Fehlervektors in der Kalibrierungseinheit verarbeitet.

Während der Verarbeitung der Daten in der Kalibrierungseinheit werden die jeweils aus den vorherigen Messungen wiederkehrenden Objektdaten ausgewählt, wobei nicht wieder gefundene Objektdaten gelöscht sowie jeweils neu hinzugekommene Objektdaten aufgenommen werden. Die Objektdaten, die nach mehrmaligen Messungen aus unterschiedlichen Positionen des Fahrzeugs heraus eine Verkleinerung des jeweiligen Konfidenzintervalls aufweisen, werden als zu einem ruhenden oder quasi ruhenden Objekt gehörenden Daten gekennzeichnet.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann darüber hinaus auch aus aufeinanderfolgenden Objektdaten eine übereinstimmende Relativgeschwindigkeit von Objekten und daraus auch die Eigenbewegung des Fahrzeugs ermittelt werden. Die Objektdaten, die einem Objekt mit dieser gleichen Relativgeschwindigkeit zuzuordnen sind, können dabei als zu einem ruhenden oder quasi ruhenden Objekt gehörenden Daten gekennzeichnet werden. In vorteilhafter Weise kann als Eigenbewegung des Fahrzeugs z. B. auch eine Rotationsbewegung des Fahrzeuges durch Nickbewegungen und/oder durch Kurvenfahrten herangezogen werden.

Die Ergebnisse der Kalibrierung eines Sensors des Sensorsystems können auf einfache Weise auf einen oder mehrere weitere Sensoren am Kraftfahrzeug zur Kalibrierung auch dieser Sensoren übertragen werden. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist somit eine gemeinsame Kali-

brierung der meisten Fahrzeugsensoren nach dem Einbau möglich, ohne spezielle Randbedingungen zu erfordern. Insbesondere die Kombination von Sensoren, wie Kamera, Radar, Radsensor, Beschleunigungssensor ist hier vorteilhaft; aber auch eine Anwendung in Zusammenhang mit Lidar- oder Ultraschallsensoren ist möglich.

Für den Fall, dass der oder die Sensoren des Sensorsystems widersprüchliche Messdaten erstellen, kann beispielsweise eine Signalisierung an eine Auswerteeinheit oder an den Fahrer des Fahrzeugs erfolgen.

Die Erfindung dient somit in vorteilhafter Weise der Durchführung einer Kalibrierung mit gutem Ergebnis ohne eine spezielle Kalibrieranordnung oder Kalibrierbewegungsfolge zu erfordern. Das Sensor- bzw. Auswertesystem kann sich hierbei vollständig oder weitgehend selbsttätig kalibrieren und die Genauigkeit und Zuverlässigkeit seiner Kalibrierung bestimmen. Parameter, die nicht oder noch nicht kalibriert sind, sind durch eine unendliche Ungenauigkeit gekennzeichnet. Insbesondere bemerkt das vorgestellte erfindungsgemäße Verfahren grobe Veränderungen der Kalibrierung, die z. B. aufgrund thermischer oder mechanischer Verschiebungen möglich sind.

Besonders vorteilhaft kann die Erfindung angewendet werden, wenn das Sensorsystem ein Bildaufnahmesystem ist, bei dem mittels einer elektronischen Kamera mit nichtlinearer Wandlerkennlinie in den Aufnahmeintervallen jeweils seriell Bildpunkte erfasst und ausgewertet werden. Viele herkömmliche Bildaufnahmeverfahren führen die Kamerakalibrierung über den Umweg der sog. Fundamentalmatrizen aus und sind deshalb auf eine zeitgleiche Aufnahme der Bildelemente (kubisches Bildraster) und synchrone Sensordaten angewiesen. Das erfindungsgemäße Verfahren arbeitet hingegen auch mit einem beliebigen Aufnahmezeitpunkt der einzelnen Bildpunkte und mit asynchronen Sensordaten. Somit ermöglicht das Verfahren insbesondere die Kalibrierung von hochauflösenden Videokameras mit nichtlinearer Kennlinie, welche in der Regel ihre Bildpunkte seriell aufnehmen.

Diese und weitere Merkmale von bevorzugten Weiterbildungen der Erfindung gehen außer aus den Ansprüchen auch aus der Beschreibung und den Zeichnungen hervor, wobei die einzelnen Merkmale jeweils für sich allein oder zu mehreren in Form von Unterkombinationen bei der Ausführungsform der Erfindung und auf anderen Gebieten verwirklicht sein und vorteilhafte sowie für sich schutzfähige Ausführungen darstellen können, für die hier Schutz beansprucht wird.

Zeichnung

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Kalibrierung eines Sensorsystems wird anhand eines Ausführungsbeispiels bei der Anwendung des Verfahrens in einem Bildverarbeitungssystem, zur Auswertung von Objekten im Kursverlauf eines Fahrzeuges, in der Zeichnung erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 eine Skizze eines Fahrzeugs mit einem Sensor und einem Auswerte- und Kalibrierungssystem für die Anwendung mit einer Vielzahl von Einzelsensoren einschließlich eines Bildaufnahmesystems;

Fig. 2 eine erste Ablaufskizze der Kalibrierungsschritte;

Fig. 3 eine zweite Ablaufskizze der Kalibrierungsschritte und

Fig. 4 eine Darstellung eines Lochkameramodells zur Erläuterung der theoretischen Zusammenhänge bei der Gewinnung eines Fehlervektors im Kalibrierungsverfahren.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

Fig. 1 zeigt eine mögliche Ausgestaltung eines Sensorsystems zur Durchführung einer Selbstkalibrierung der Sensorelemente, das in ein System zur Erfassung des Fahrzeugumfelds in einem Fahrzeug 1, wie in der Beschreibungseinleitung erwähnt, integriert ist. In der Fig. 1 sind hier nur beispielhaft als Sensoren eine elektronische Kamera als Bildaufnahmesensor 2, ein Radarsensor 3, ein Beschleunigungssensor 4 und weitere Radsensoren 5 dargestellt. Diese Sensoren 2 bis 5 können, wie aus der Fig. 1 mit den Abstrahlungsfeldern und den Pfeilen für die zu erfassenden mechanischen Größen angedeutet, auf die Erfassung der Bewegung des Fahrzeugs 1 und des vorderen Fahrzeugumfelds ausgerichtet sein.

Bei anwendungstypischen Gegebenheiten befinden sich im Erfassungsbereich, bzw. im Fahrzeugumfeld Objekte 6 oder sogar Gruppen von Objekten 6, die sich über einen längeren Betrachtungszeitraum nicht verformen, sondern sich allenfalls als Ganzes bewegen. Beispielfähig können hierfür insbesondere die Fahrbahn, die Leitplanken oder unter Umständen auch weitere Fahrzeuge genannt werden. Die mit den Sensoren 2 bis 5 gewonnenen Daten werden beim Ausführungsbeispiel nach der Fig. 1 einer oder mehreren Auswerteeinheiten 7 zugeführt, welche auch eine Kalibrierungseinheit beinhalten und die Informationen über die Fahrzeugumgebung auswerten und Kalibrierung durchführen. Die Auswerteeinheit 7 ist in der Regel ohnehin zur Ermittlung von Fahrzeugumfeldinformation vorhanden und kann daher zur Bestimmung der Kalibrierungsparameter mitverwendet werden.

Die Auswerteeinheit 7 benötigt für die Durchführung der Sensorkalibrierung Objektdaten, die einem Speicher 8 entnommen werden können. In der Auswerteeinheit 7 wird mit der Auswertung der Objektdaten die jeweils im Speicher 8 befindliche Kalibrierungsinformation in einer weiter unten noch näher erläuterten Art und Weise verbessert. Die von der Auswerteeinheit 7 unter Zuhilfenahme der Kalibrierung berechnete Information über das Fahrzeugumfeld wird dann zur Beeinflussung des Fahrzeugs 1 über eine Aktorik 9 umgesetzt und/oder informativ an den Fahrer des Fahrzeugs 1 über eine Mensch-Maschine Schnittstelle 10, z. B. einen Lautsprecher oder ein Display, weitergegeben. Die Aktorik 9 kann hierbei z. B. ein Stellsignal für die Fahrzeugbremse verarbeiten.

Anhand Fig. 2 sind mögliche Verfahrensschritte bei der Durchführung der Selbstkalibrierung des Sensorsystems im Fahrzeug 1 nach der Fig. 1 veranschaulicht. Hierbei werden die von den Sensorelementen 2 bis 5 gemessene Größen einer realen Welt, dargestellt durch die Blöcke 20 und 21, sogenannten modellierten Größen, dargestellt durch die Blöcke 22 und 23, gegenübergestellt. Die Differenz zwischen den gemessenen Größen und den modellierten Größen, ermittelt im Block 24, bildet im Block 25 einen Fehlervektor. Die Durchführung der Kalibrierung innerhalb der Auswerteeinheit 7 erfolgt hierbei so, dass der Fehlervektor möglichst klein wird, d. h. die Modellwelt der realen Welt möglichst gut entspricht.

Die aus den Objektdaten der Sensoren 2 bis 5 gewonnene Kalibrierungsdaten bilden gemeinsam mit Modelldaten der parametrischen Modellwelt, entsprechend der Beschreibung des Fahrzeugumfeldes, auch einem Parametervektor, der in einem Block 26 abstrakt gezeigt ist. Das Modell beinhaltet dabei neben der parametrischen Beschreibung der Welt auch die Abbildung der Welt auf durch die Sensorelemente 2 bis 5 messbaren Größen. Für das Beispiel der Anwendung einer Kamera als Bildaufnahmesensor 2 ist dies die Projektion der Welt auf die Bildfolge. Die messbaren Größen werden dann

sowohl aus der parametrischen Modellwelt bestimmt als auch durch das Sensorelement 2 gemessen. Die Differenz dieser beiden Bestimmungen der messbaren Größen wird zu einem Fehlervektor gruppiert (Block 25). Der Parametervektor in Block 26 wird dann durch geeignete Verfahren, die in einem Block 27 gekennzeichnet sind, so eingestellt, dass der Fehlervektor minimal wird, d. h. er wird derart minimiert, dass die tatsächlichen Messungen und die durch das Modell in Verbindung mit dem aktuellen Parametervektor bestimmten Größen möglichst gut übereinstimmen.

Für die Durchführung eines solchen, für sich bekannten, Minimierungsverfahrens ist ein einfaches Kriterium für eine gute Übereinstimmung der Größen beispielsweise die Quadratsumme der Abweichungen. Ein hinreichend gutes Ergebnis des Minimierungsverfahrens kann beispielsweise durch ein sog. Least-Square-Verfahren gefunden werden oder es können auch weiterhin andere robuste Schätzverfahren sowie ein sog. Extended Kalman Filter bzw. ähnliche Ansätze verwendet werden. Alle diese, für sich gesehen bekannten, Verfahren erlauben die Bestimmung der Genauigkeit und Zuverlässigkeit von Parametern und Messungen.

Dem erfindungsgemäßen Verfahren liegt, wie oben erwähnt, die Annahme zugrunde, dass starre Objekte 6 oder Gruppen solcher Objekte 6 im Fahrzeugumfeld existieren. Ihre Bewegung läßt sich daher durch drei Rotationsparameter und drei Translationsparameter vollständig beschreiben. Weiterhin wird angenommen, dass sich zumindest manche dieser Objekte 6 relativ zum Fahrzeug 1 bewegen, beispielsweise aufgrund der Eigenbewegung des Fahrzeugs 1. Diese Voraussetzungen sind häufig genug erfüllt, so dass eine Berechnung oder Überprüfung der Kalibrierung in kurzen Intervallen möglich ist.

Fig. 3 zeigt ein weiteres mögliches Flußdiagramm zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens hinsichtlich der Auswertung der Objektdaten, welches im Zusammenhang mit einem sog. Lochkameramodell anhand Fig. 4 erläutert werden soll. Anhand des in der Fig. 3 dargestellten Flußdiagramms soll eine einfache Ausführung der Auswertung der Objektdaten nachfolgend dargelegt werden. Hierbei umfasst das zugrunde liegende Sensorsystem notwendigerweise nur eine Kamera (Sensor 2) und den Radarsensor 3. Auf die nähere Erläuterung des Flußdiagramms nach der Fig. 3 wird nach einer Beschreibung der Fig. 4 eingegangen.

Die Fig. 4 stellt beispielhaft ein einfaches bekanntes Abbildungsmodell für den Sensor 2 als sog. Lochkameramodell dar und dient dabei lediglich der Begriffsdefinition. Die Kalibrierparameter der Sensoren 2 und 3 werden gemeinsam mit Modellgrößen der parametrischen Modellwelt als Beschreibung des Fahrzeugumfeldes, wie anhand der Fig. 2 erläutert, in einem Parametervektor zusammengefaßt. Das Modell nach der Fig. 4 beinhaltet neben der parametrischen Beschreibung der Welt auch die Abbildung der Welt auf die mit den Sensoren 2 und 3 messbaren Größen. Für das Beispiel der Kamera 2, bzw. der Lochkamera nach der Fig. 4, ist dies die Projektion der Welt auf die Bildfolge. Die messbaren Größen werden dann sowohl aus der parametrischen Modellwelt bestimmt als auch durch die Sensorik gemessen. Die Differenz dieser beiden Bestimmungen der messbaren Größen wird zu einem Fehlervektor gruppiert. Der Parametervektor wird durch geeignete Verfahren so eingestellt, daß der Fehlervektor minimal wird, d. h. so, dass die tatsächlichen Messungen und die durch das Modell in Verbindung mit dem aktuellen Parametervektor bestimmten Größen möglichst gut übereinstimmen.

In der Fig. 4 beschreibt der Punkt C das Projektionszentrum durch welches alle Abbildungsstrahlen des Sensors 2 verlaufen. Die Senkrechte zur Bildebene durch das Projektionszentrum C wird als optische Achse (Z-Achse) bezeichnet.

net. Die Z-Achse schneidet eine Bildebene B im Bildhauptpunkt P_{BH} . Der Bildhauptpunkt P_{BH} hat in dem durch Bildzeilen und -spalten aufgespannten Rechnerkoordinatensystem die Koordinaten (x_r, y_r) entsprechend (x_h, y_h) . Die X- und Y-Achse des Kamerakoordinatensystems verlaufen dabei parallel zu den Achsen des Rechnerkoordinatensystems. Als Kammerkonstante c wird hier der Abstand des Projektionszentrums vom Bildhauptpunkt P_{BH} , dividiert durch den Abstand zwischen zwei Bildpunkten einer Bildspalte, bezeichnet. Schließlich wird das Verhältnis des Abstandes zweier Bildpunkte innerhalb einer Bildspalte zum Abstand innerhalb einer Bildzeile als Achsenverhältnis s bezeichnet. Für das Lochkameramodell nach der Fig. 4 bilden die vier genannten Parameter (x_h, y_h, c, s) die sog. intrinsischen Parameter der Kalibrierung. Damit kann die Projektion eines Objektpunktes P_O auf die Bildebene (Bildpunkt P_B) nach der folgenden Beziehung angegeben werden:

$$\begin{aligned} x_r &= x_h + s \cdot c \cdot X/Z \\ y_r &= y_h + c \cdot Y/Z \end{aligned} \quad (1)$$

Es wird hier weiterhin angenommen, dass für die Kamera (Sensor 2) ein einfaches Lochkameramodell nach der Fig. 4 zugrunde liegt, dessen intrinsische Kalibrierung die Parameter Bildhauptpunkt P_{BH} , Kammerkonstante c und die Bildachsenskalierung umfasst. Für den Radarsensor 3 sollen zusätzlich der Verschiebungsvektor T und die Rotation R zwischen Radarkoordinatensystem und Kamerakoordinatensystem kalibriert werden. Damit ergibt sich der Zusammenhang zwischen dem Kamerakoordinatensystem (X, Y, Z) und dem Radarkoordinatensystem (X_R, Y_R, Z_R) zu:

$$(X, Y, Z) = R \cdot ((X_R, Y_R, Z_R) - T) \quad (2)$$

Die Kalibrierungsparameter der Sensoren 2 und 3 bilden dann den gesuchten Kalibrierungsvektor p_k .

Als messbare Größen werden z. B. von der Kamera (Sensor 2) die Bildkoordinaten ruhender charakteristischer Punkte an Objekten 6 (Ecken, o. ä.) und vom Radarsensor 3 die Entfernung, Winkel und Relativgeschwindigkeit von ruhenden Objekten 6 im Radarkoordinatensystem bezeichnet. Die geometrischen Parameter, aus denen sich messbare Größen mit Hilfe der Kalibrierung anhand des Abbildungsmodells nach der Fig. 4 bestimmen lassen, werden hier als Modellparameter p_m bezeichnet. Für das gewählte Beispiel sind dies die (Kamera-)Koordinaten der charakteristischen Punkte sowie die Koordinaten und die Relativgeschwindigkeit von Objekten. Das Abbildungsmodell ist für die Kamera (Sensor 2) durch die Gleichung (1) und für den Radarsensor 3 durch die Gleichung (2) gegeben. Die Modellparameter p_m bilden gemeinsam mit den Kalibrierungsparametern p_k den Parametervektor p (vgl. Block 26 aus der Fig. 2).

Nach dem Flußdiagramm aus der Fig. 3 wird zunächst der Parametervektor p initialisiert (Block 30), z. B. wird der Bildhauptpunkt P_{BH} willkürlich auf den Bildmittelpunkt gesetzt, als Kammerkonstante c und Achsenverhältnis werden die groben Werte, wie sie beispielsweise der Kamerahersteller angibt, verwendet. Der Verschiebungsvektor T und der Rotationsvektor R werden grob, beispielsweise mit einem Metermaß, vermessen. Da bislang weder charakteristische Bildpunkte noch Objekte vermessen wurden, enthält der Modellparametervektor p_m noch keine Parameter und die Menge der messbaren Größen wird als leer initialisiert.

In einem weiteren Schritt werden von den Sensoren 2 und 3 Messungen durchgeführt (Block 31), wobei insbesondere die in zeitlich vorhergehenden Messungen bereits ermittelten messbaren Größen in Block 32 wieder gesucht werden,

sog. Tracking. Die aktuell bestehende Menge messbarer Größen wird dann nach Block 33 um neu hinzugekommene messbare Größen, wie z. B. um neu ins Bild gekommene charakteristische Punkte, erweitert. Die beim sogenannten Tracking nicht wieder gefundenen messbaren Größen werden dabei aus der Menge der messbaren Größen entfernt.

Für alle messbaren Größen werden die Modellparameter p_m und die Fahrzeugeigenbewegung zum vorherigen Meßzeitpunkt mit den zugehörigen Konfidenzintervallen mittels an sich bekannter Standardmethoden bestimmt. Nachdem beispielsweise ein charakteristischer Objektpunkt P_0 das erste Mal gemessen wurde, umfasst das Konfidenzintervall dabei noch mindestens eine Gerade. Nach mehrmaligem Vermessen derselben charakteristischen Objektpunktes P_0 aus unterschiedlichen Positionen lassen sich die Modellparameter p_m und die Fahrzeugeigenbewegung zunehmend genauer vermessen, so dass das entsprechende Konfidenzintervall kleiner wird. Objektpunkte P_0 mit kleinem Konfidenzintervall und zeitlich stabilen Koordinaten werden als zu ruhenden Objekten 6 gehörig gekennzeichnet und in den Modellparametervektor aufgenommen. Umgekehrt werden Punkte, die nicht oder nicht mehr ruhen aufgrund veränderlicher Koordinaten, aus dem Modellparametervektor entfernt. Analog wird die Fahrzeugeigenbewegung mittels robusten Schätzverfahren aus den vom Radarsensor 3 vermessenen Relativgeschwindigkeiten aller Objekte 6 ermittelt und nur die Objekte, die sich mit dieser Relativgeschwindigkeit bewegen, werden als ruhend akzeptiert und ihre Position dem Modellparametervektor zugeordnet.

Im Gegensatz zu Verfahren aus dem Bereich des sog. aktives Sehens ist für die anhand des Ausführungsbeispiels beschriebene Erfindung somit keine gezielte Bewegung des Fahrzeugs 1 notwendig, sondern es wird die vorhandene Bewegung des Fahrzeugs 1 ermittelt und ausgenutzt. Mit Hilfe der oben aufgestellten Abbildungsgleichungen (1) und (2) werden dann die messbaren Größen aus der Modellwelt aus dem Parametervektor p nach Block 34 aus der Fig. 3 ermittelt. Die Differenz zwischen dem Wert der messbaren Größen aufgrund der Sensormessung und der Modellierung wird als Fehlervektor bezeichnet (Block 35), wobei auch der Fehlervektor von den Kalibrierungsparametern abhängig ist, da die modellierten Werte von der Kalibrierung abhängen.

Durch eine schon erwähnte Ausgleichsrechnung kann nun der Parametervektor p nach Block 36 so variiert werden, dass der Fehlervektor kleiner wird, z. B. durch ein Least-Square-Verfahren. Anschließend können neue Messungen der Sensoren 2 und 3 hinzugefügt werden, so dass sich insgesamt ein iteratives Kalibrierungsverfahren ergibt (Block 37). Bei der Durchführung der beschriebenen Verfahrensschritte stellt sich dabei eine relativ schnelle Konvergenz der Kalibrierungsparameter auf für eine geometrische Vermessungen gute Werte heraus. Besonders günstig für die Qualität der Kalibrierung ist dabei die Zugrundelegung der Rotationsbewegungen des Fahrzeugs 1, wie sie in der Praxis durch Nickbewegungen oder durch Kurvenfahrten auftreten.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kalibrierung eines Sensorsystems, mit dem eine Erfassung und Auswertung von Objekten im Kursverlauf eines Fahrzeuges (1) durchgeführt wird, bei dem
 - mit dem Sensorsystem (2, 3, 4, 5) charakteristische Daten der Objekte (6) erfasst werden und die Daten, die unter Berücksichtigung der Eigenbewegung des Fahrzeugs (1) als ruhende oder quasi ruhende Objekte (6) erkannt werden, einer Kali-

brierungseinheit (7) zugeführt werden und bei dem

- die Abweichung der aktuell gemessenen Daten von Daten eines Modells der Objekte (6) als Fehlervektor ermittelt (25; 35) und zur Korrektur der Daten des Modells in Richtung auf eine Minimierung der Abweichung herangezogen wird (27, 26; 36, 37)
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
 - nach einer Initialisierungsphase (30) mit vorgebbaren Parametern eine erste Erfassung (20, 21; 31, 32) der Objektdaten vorgenommen wird, die als Modelldaten gespeichert werden (22; 33) und dass
 - in allen zyklisch darauf folgenden Messungen die jeweils aktuellen Objektdaten mit den zuvor erfassten gespeicherten Modelldaten zur Gewinnung des jeweiligen Fehlervektors in der Kalibrierungseinheit verarbeitet werden (25, 26; 34, 35).
 3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass
 - während der Verarbeitung der Daten in der Kalibrierungseinheit (7) die jeweils in den vorherigen Messungen gewonnenen Objektdaten ausgewählt werden, wobei nicht wieder gefundene Objektdaten gelöscht und jeweils neu hinzugekommene Objektdaten aufgenommen werden und dass
 - die Objektdaten, die nach mehrmaligen Messungen aus unterschiedlichen Positionen des Fahrzeugs (1) heraus eine Verkleinerung des jeweiligen Konfidenzintervalls aufweisen, als zu einem ruhenden oder quasi ruhenden Objekt (6) gehörenden Daten gekennzeichnet werden.
 4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass
 - aus aufeinanderfolgenden Objektdaten eine übereinstimmende Relativgeschwindigkeit von Objekten und daraus die Eigenbewegung des Fahrzeugs (1) ermittelt wird und dass
 - die Objektdaten, die einem Objekt (6) mit dieser gleichen Relativgeschwindigkeit zuzuordnen sind, als zu einem ruhenden oder quasi ruhenden Objekt (6) gehörenden Daten gekennzeichnet werden.
 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
 - als Eigenbewegung des Fahrzeuges (1) eine Rotationsbewegung des Fahrzeuges (1) durch Nickbewegungen und/oder durch Kurvenfahrten herangezogen wird.
 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
 - das Sensorsystem ein Bildaufnahmesystem als Sensor (2) beinhaltet, bei dem mittels einer elektronischen Kamera mit nichtlinearer Wandlerkennlinie in den Aufnahmeintervallen jeweils seriell Bildpunkte erfasst und ausgewertet werden.
 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
 - die Ergebnisse der Kalibrierung eines Sensors (2) des Sensorsystems auf einen oder mehrere weitere Sensoren (3, 4, 5) am Fahrzeug (1) zur Kalibrierung auch dieser Sensoren übertragen werden.
 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

– für den Fall, dass ein oder die Sensoren (2, 3, 4, 5) des Sensorsystems widersprüchliche Messdaten erstellen, eine Signalisierung an eine Auswerteeinheit oder an den Fahrer des Fahrzeugs (1) erfolgt.

5

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

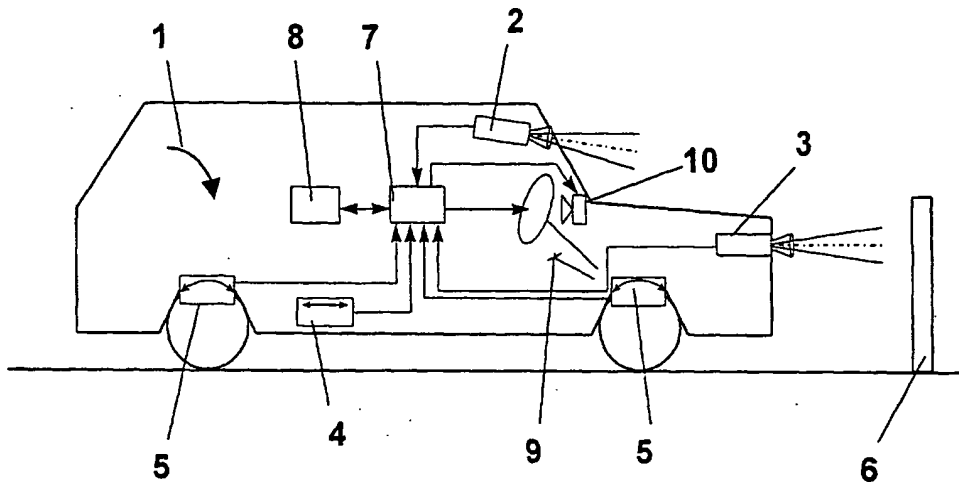
50

55

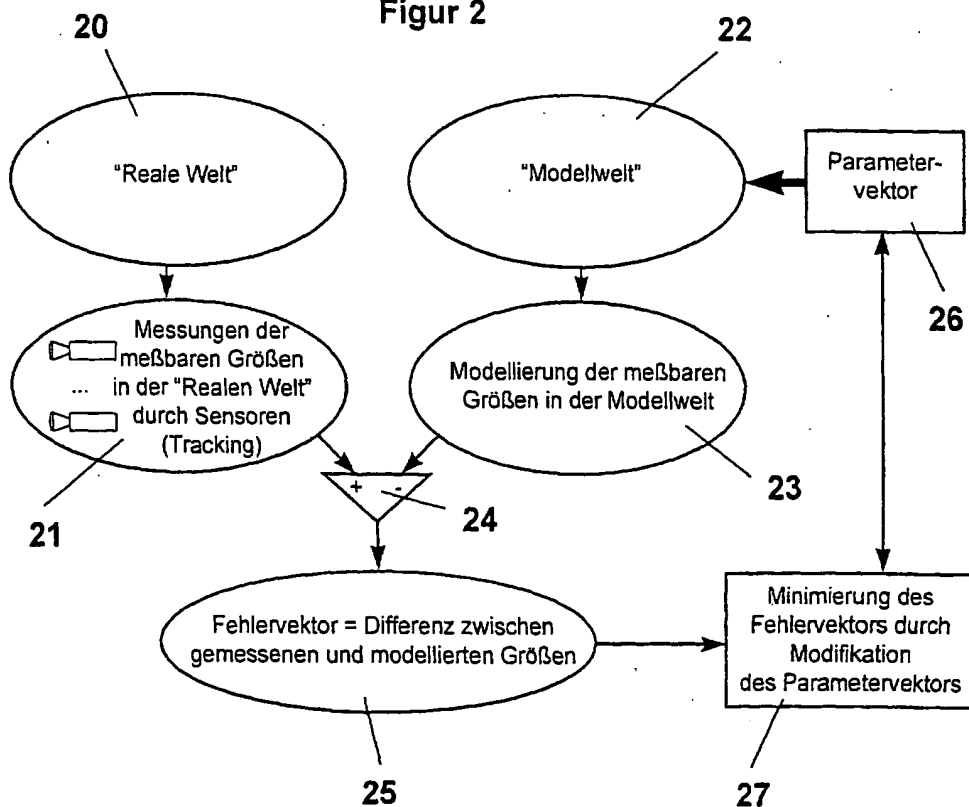
60

65

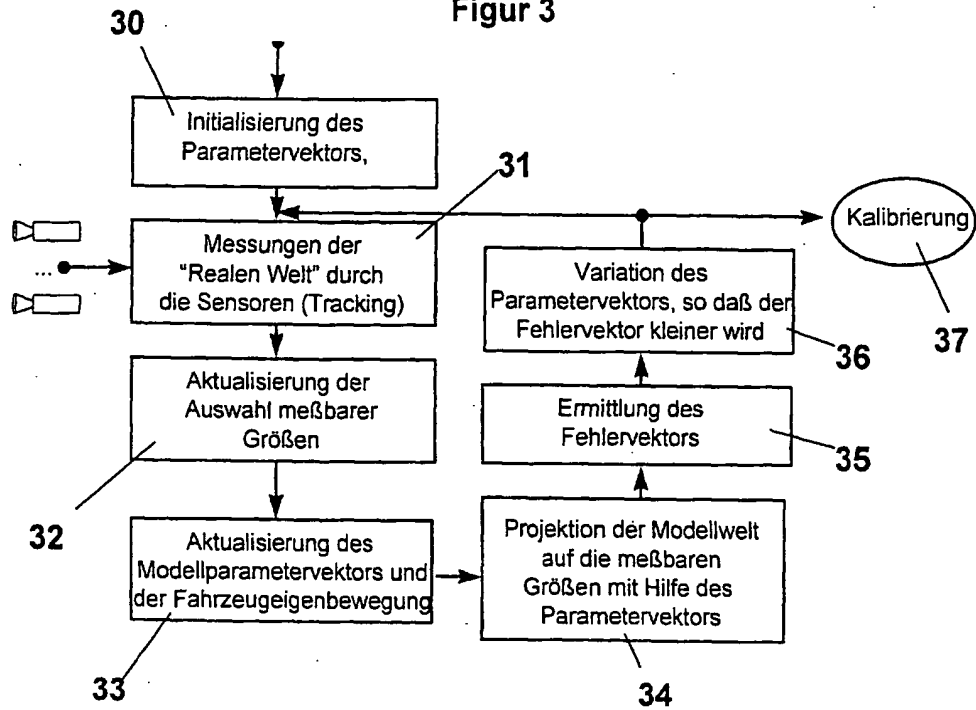
Figur 1



Figur 2



Figur 3



Figur 4

